

Analisis Unsur-unsur Cuaca dan Iklim Melalui Uji Mann-Kendall Multivariat

Miftahuddin*

Abstrak

Penelitian cuaca dan iklim sangat urgen dilakukan untuk mengantisipasi perubahan dan dampak yang ditimbulkannya di masa mendatang. Data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari BMKG Blang Bintang, Aceh Besar, Provinsi Aceh dari Januari 1997-Desember 2006. Metode yang digunakan adalah uji Mann-Kendall Multivariat (parsial). Hasil kajian suhu udara tahunan periode 1997-2005 *trend* turun dengan interval peluang kejadian 0.528-0.815, tahun 2006 *trend* naik dengan peluang 0.5. Curah hujan periode 1997-2005 *trend* naik dengan interval peluang kejadian 0.848-0.968, tahun 2006 *trend* turun dengan peluang 0.660. Tekanan udara tahun 1997-2003 dan tahun 2006 *trend* naik dengan interval peluang kejadian 0.686-0.709 dan 0.609, tahun 2004 dan 2005 *trend* turun dengan peluang 0.555 dan 0.661. Kelembaban udara tahun 1997, 2000-2002, 2005 dan 2006 *trend* naik dengan peluang 0.635, 0.5-0.735, 0.994 dan 0.935. Tahun 1998, 1999, 2003 dan 2004 *trend* turun dengan peluang 0.6364 dan 0.583, 0.609 dan 0.584. Kecepatan angin tahun 1997-2001 dan 2003-2005 *trend* naik dengan interval peluang 0.585-0.801 dan 0.668-0.611, tahun 2002, 2006 *trend* turun dengan peluang 0.528 dan 0.792. Signifikansi suhu dan curah hujan berbanding terbalik jika suhu meningkat maka curah hujan menurun dengan nilai kovariansi terbesar 39.96 dan terkecil -97.41. Suhu dan tekanan berbanding terbalik jika suhu meningkat maka tekanan menurun dengan nilai kovariansi terbesar 1.373 dan terkecil -0.278. Suhu dan kelembaban berbanding terbalik jika suhu meningkat maka kelembaban menurun dengan nilai kovariansi terbesar 1.5 dan terkecil -1.036. Suhu dan kecepatan angin juga berbanding terbalik dengan nilai kovariansi terbesar 1.722 dan terkecil -0.878.

Kata Kunci: Signifikansi iklim, uji tanda, trend iklim, uji Mann-Kendall (parsial).

1. Pendahuluan

Dalam kehidupan sehari-hari keadaan cuaca dan iklim sangat mempengaruhi segala aktivitas manusia. Menurut Tjasjono (2004), manusia dapat bertahan sampai satu hari tanpa air di daerah gurun yang paling panas, tetapi tanpa atmosfer manusia hanya dapat bertahan beberapa menit saja. Atmosfer terutama biosfer yang berada di sekeliling manusia mempunyai karakteristik tertentu dalam hal suhu, kelembaban, kecepatan dan arah angin, curah hujan dan sebagainya. Cuaca merupakan keadaan udara pada saat tertentu dan wilayah tertentu yang relatif sempit dan jangka waktu singkat. Cuaca terbentuk dari gabungan unsur-unsur cuaca yang hanya beberapa jam saja. Misalnya keadaan udara pada pagi hari dapat berubah pada siang hari, sore hari, dan malam hari. Iklim adalah keadaan cuaca rata-rata dalam waktu yang relatif lama dan meliputi wilayah luas. Proses terjadinya cuaca dan iklim merupakan kombinasi dari variabel-variabel atmosfer yang sama yang disebut unsur-unsur iklim. Iklim beserta unsurnya adalah hal penting untuk diperhatikan, dipelajari, diantisipasi efeknya, karena pengaruhnya sering menimbulkan masalah bagi manusia serta makhluk hidup lainnya. Banyak metode yang dapat digunakan untuk

* Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Syiah Kuala, Nangroe Aceh Darussalam

melihat pengaruh kondisi cuaca dan iklim serta pola (*pattern*) dan kecenderungan (*trend*) berdasarkan unsur-unsur yang mempengaruhi maupun signifikansinya. Salah satu metode untuk melihat hal tersebut adalah uji Mann-Kendall Multivariat (parsial), yang menjadi fokus dalam tulisan ini.

2. Landasan Teori

Menurut Kartasapoetra (2004), cuaca adalah keadaan atau kelakuan atmosfer pada waktu tertentu yang sifatnya berubah-ubah dari waktu ke waktu. Udara mempunyai sifat yang sangat dinamis. Suhu dan kelembaban udara akan berubah dari waktu ke waktu. Intensitas cahaya yang diteruskan ke permukaan bumi setelah melalui lapisan atmosfer akan selalu berubah pula, tergantung keadaan penyebaran dan ketebalan awan. Demikian pula halnya dengan kecepatan dan arah angin. Kondisi atmosfer yang dinamis, berubah dalam waktu singkat (dalam jam atau hari) disebut cuaca (Lakitan, 2002). Menurut Kartasapoetra (2004), iklim adalah rata-rata keadaan cuaca dalam waktu yang cukup lama. Iklim merupakan fenomena alam yang digerakkan oleh gabungan beberapa unsur, yaitu radiasi matahari, temperatur, kelembaban, awan, hujan, evaporasi, tekanan udara, dan angin. Faktor yang mempengaruhi unsur iklim sehingga dapat membedakan iklim di suatu tempat dengan iklim di tempat lain disebut kendali iklim. Matahari adalah kendali iklim yang sangat penting dan sumber energi di bumi yang menimbulkan gerak udara dan arus laut. Kendali iklim yang lain, misalnya distribusi darat dan air, sel semi permanen tekanan tinggi dan tekanan rendah, massa udara, pegunungan, arus laut dan badai (Tjasjono, 2004).

2.1. Unsur-unsur yang Mempengaruhi Cuaca dan Iklim

a. Suhu udara

Menurut Kartasapoetra (2004), suhu adalah derajat panas atau dingin yang diukur berdasarkan skala tertentu. Satuan suhu digunakan derajat celcius ($^{\circ}\text{C}$), di Inggris dan beberapa negara lainnya dinyatakan $^{\circ}\text{F}$ yang menetapkan titik didih air dalam 212°F dan titik lebur es 32°F . Dalam skala perseratusan (skala Celcius) ditetapkan titik didih air 100° dan titik lebur es 0° . Kedua skala tersebut menunjukkan suhu yang sama pada -40° . Suhu Fahrenheit dapat diubah menjadi derajat Celcius: $F = 32 + (9/5)C$ (Tjasjono, 2004).

b. Tekanan udara

Menurut Tjasjono (2004), berat sebuah kolom udara per satuan luas di atas sebuah titik menunjukkan tekanan atmosfer (tekanan udara) pada titik tersebut. Distribusi tekanan horizontal dinyatakan oleh isobar; garis yang menghubungkan tempat yang mempunyai tekanan atmosfer sama pada ketinggian tertentu. Tekanan atmosfer berubah sesuai dengan tempat dan waktu. Tekanan udara diukur berdasarkan tekanan gaya pada permukaan dengan luas tertentu. Satuannya atmosfer (atm) atau mm Hg atau mbar, dimana tekanan udara $1\text{atm} = 760\text{mmHg} = 1.013\text{mbar}$. Tekanan udara berkurang dengan bertambahnya ketinggian tempat (elevasi atau altitud). Tekanan udara umumnya menurun sebesar 11mbar untuk setiap bertambahnya ketinggian tempat sebesar 100m (Lakitan, 2002).

c. Kelembaban udara

Menurut Kartasapoetra (2004), kelembaban adalah banyaknya kadar uap air yang ada di udara. Dalam kelembaban dikenal beberapa istilah. Kelembaban mutlak adalah massa uap air yang berada dalam satu satuan udara, yang dinyatakan gram/m^3 . Kelembaban spesifik merupakan

perbandingan massa uap air di udara dengan satuan massa udara, yang dinyatakan gram/kg. Kelembaban relatif merupakan perbandingan jumlah uap air di udara dengan jumlah maksimum uap air yang dikandung udara pada temperatur tertentu, dinyatakan dalam %. Angka kelembaban relatif dari 0–100%, dimana 0% artinya udara kering, sedang 100% artinya udara jenuh dengan uap air dimana akan terjadi titik-titik air. Besaran yang digunakan untuk menyatakan kelembaban udara adalah kelembaban nisbi, dimana kelembaban tersebut berubah sesuai dengan tempat dan waktu. Menjelang tengah hari kelembaban nisbi berangsur turun, kemudian pada sore hari sampai menjelang pagi bertambah besar (Tjasjono, 2004).

d. Curah hujan

Menurut Kartasapoetra (2004), hujan merupakan salah satu bentuk presipitasi uap air berasal dari awan yang terdapat di atmosfer. Bentuk presipitasi lainnya adalah salju dan es. Untuk dapat terjadinya hujan diperlukan titik-titik kondensasi, amoniak, debu, dan asam belerang. Titik-titik kondensasi ini mempunyai sifat dapat mengambil uap air dari udara. Jumlah curah hujan dicatat dalam inci atau millimeter (1inci = 25.4mm). Jumlah curah hujan 1mm menunjukkan tinggi air hujan yang menutupi permukaan 1mm, jika air tersebut tidak meresap ke dalam tanah atau menguap ke atmosfer (Tjasjono, 2004).

e. Angin

Menurut Kartasapoetra (2004), angin merupakan gerakan atau perpindahan massa udara dari satu tempat ke tempat lain secara horizontal. Massa udara adalah udara dalam ukuran yang sangat besar yang mempunyai sifat fisik (temperatur dan kelembaban) seragam dalam arah yang horizontal. Gerakan angin berasal dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Kecepatan angin dibagi atas kelas atau tingkatan berdasarkan kerusakan yang diakibatkan angin dan kecepatan angin, sebagaimana yang diperlihatkan pada Tabel 1 berikut.

Angin mempunyai arah yaitu arah dari mana angin bertiup biasanya dinyatakan dalam 16 titik kompas (U, UTL, TL, TTL dan sebagainya) untuk angin-angin permukaan, untuk angin di atas dinyatakan derajat atau 1/10 derajat dari utara, searah jarum jam. Kecepatan angin km/jam, mil/jam, m/det, knot, dimana 1km/jam = 0.621mil/jam = 0.278 knot, 1knot = 1.852km/jam = 1.151mil/jam = 0.514m/det (Linsley *et al.*, 1986).

Tabel 1. Kelas-kelas Kecepatan Angin Menurut Beaufort (Kelas *Beaufort*).

Kelas	Sifat	Akibat	Kecepatan
0	Sunyi	Gerakan asap ke atas	< 1 km/jam
1	Sepoi-sepoi	Gerakan angin terlihat pada arah asap	1–6 km/jam
2	Angin sangat lemah	Angin terasa pada muka	13–18 km/jam
3	Angin lemah	Daun dan ranting kecil bergerak-gerak	19–26 km/jam
4	Angin sedang	Kertas dapat terbang, ranting dan cabang kecil bergerak	27–35 km/jam
5	Angin agak kuat	Pohon-pohon kecil bergerak	36–44 km/jam
6	Angin kuat	Dahan besar bergerak	45–55 km/jam
7	Angin kencang	Pohon-pohon seluruhnya bergerak	56–66 km/jam
8	Angin sangat kuat	Ranting-ranting patah	67–77 km/jam
9	Badai	Genting dapat terlempar	78–90 km/jam
10	Badai kuat	Pohon-pohon dapat tumbang	91–95 km/jam
11	Angin ribut	Pohon-pohon tumbang	96–104 km/jam
12	Topan dahsyat	Pohon-pohon tumbang, rumah rubuh	> 104 km/jam

2.2. Uji Tanda (Sign Test)

Menurut Hasan (2002), uji tanda adalah uji berdasarkan tanda negatif dan tanda positif dari perbedaan antara pasangan pengamatan. Uji tanda biasanya digunakan untuk mengetahui pengaruh sesuatu, dimana umumnya uji ini digunakan untuk membandingkan dua sampel yang berpasangan yang berasal dari populasi yang sama (Harinaldi, 2005). Pengujian ini hanya memperhatikan arah perbedaan dan bukan besarnya perbedaan itu (Supranto, 2001). Menurut Mangkuatmodjo (2004), jika perbedaan antara dua nilai di dalam sebuah pasangan adalah nol, maka pasangan itu dikeluarkan, dan jumlah pasangan nilai yang tinggal akan dipergunakan sebagai besaran sampai n di dalam perhitungan. Dengan demikian jika hipotesis nol itu benar, ukuran perbedaan itu ditandai dengan plus jika lebih besar, atau minus jika lebih kecil (Sarwoko, 2007).

2.3. Uji Mann-Kendall Univariat dan Multivariat

a. **Perhitungan Uji Tanda** (Khambhammettu, 2005),

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} 1 & \text{jika } x_i - x_j > 0 \\ 0 & \text{jika } x_i - x_j = 0 \\ -1 & \text{jika } x_i - x_j < 0 \end{cases}.$$

b. **Menghitung Nilai Varian**

$$\text{Var}[S] = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right], \quad (1)$$

dengan n jumlah data, g jumlah grup yang terdapat dalam data (grup adalah banyaknya data yang mempunyai nilai sama dalam sebuah populasi data), t_p banyaknya grup ke- p .

c. **Menghitung Nilai Statistik Z**

Nilai Z dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Z = \frac{S-1}{[\text{VAR}(S)]^{1/2}}, \quad S > 0 \quad (2)$$

$$Z = 0, \quad S = 0 \quad (3)$$

$$Z = \frac{S+1}{[\text{VAR}(S)]^{1/2}}, \quad S < 0 \quad (4)$$

dengan S jumlah tanda (yaitu jumlah perhitungan dari jumlah tanda positif dan tanda negatif seperti pada tabel perhitungan uji tanda di atas), Z = peluang dari distribusi normal.

d. **Menghitung Nilai Fungsi Kepadatan Peluang Z**

Nilai Fungsi Kepadatan Peluang Z dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$f(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Z^2}{2}} \quad (5)$$

Jika ditentukan tingkat signifikansi 95%, maka Khambhammettu (2005) mengidentifikasi *trend* berdasarkan taraf signifikansi tersebut, yaitu:

1. *trend* dikatakan naik jika nilai Z positif dan nilai peluang lebih besar dari taraf signifikansinya.

2. *trend* dikatakan turun jika nilai Z negatif dan nilai peluang lebih besar dari taraf signifikansinya.
3. jika nilai peluang lebih kecil dari taraf signifikansinya, berarti tidak ada *trend*.

Statistik Mann-Kendall univariat untuk deret waktu $\{X_k, k = 1, 2, \dots, n\}$ dari data dapat didefinisikan

$$S = \sum_{j < i} \text{sign}(X_i - X_j). \quad (6)$$

Jika tidak ada hubungan antara pengamatan dan *trend* dalam deret waktu maka statistik uji dapat dikatakan asimtot distribusi normal dengan

$$E[T] = 0 \text{ dan } \text{Var}[T] = n(n-1)(2n+5)/18. \quad (7)$$

Jika variabel respon diukur dari beberapa musim (t), maka uji Mann-Kendall musiman adalah perhitungan dengan penyalinan data ke dalam t , setiap deret waktu musiman dapat didefinisikan

$$S_j = \sum_{k < l} \text{sign}(X_{lj} - X_{kj}) \text{ untuk } j = 1, 2, \dots, t. \quad (8)$$

Persamaan (8) adalah statistik Mann-Kendall untuk musim j , dimana penjumlahan untuk statistik musiman adalah

$$T = \sum_{j=1}^t S_j \quad (9)$$

dengan S adalah asimtot distribusi normal dan nilai rata-ratanya nol dan variansinya

$$\text{Var}[T] = \sum_{j=1}^t \text{Var}[S_j] + \sum_{j, g=1, g \neq j}^t \text{Cov}(S_j, S_g) \quad (10)$$

$$\text{Var}[S_j] = \frac{n_j(n_j-1)(2n_j+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (11)$$

dengan n_j jumlah titik data dari musim ke j , m jumlah grup (sebuah grup adalah sebuah kumpulan data sampel bernilai sama), dan t_i jumlah titik data dalam grup ke i . Kovarian dua statistik Mann-Kendall dapat ditulis dalam bentuk

$$\text{Cov}(S_j, S_g) = [T_{jg} + 4 \sum_{m=1}^n R_{mj} R_{mg} - n(n_j+1)(n_g+1)]/3 \quad (12)$$

dengan n_j , n_g jumlah data dari musim j dan g secara berturut-turut, maka statistik Mann-Kendall musiman dapat didefinisikan

$$T_{jg} = \sum_{m < n} \text{sign} [(X_{nj} - X_{mj})(X_{ng} - X_{mg})] \quad (13)$$

Matriks hubungan dari data (\mathbf{R}) yaitu jumlah data untuk setiap musim yang ditunjukkan dalam matriks tersebut. Rank elemen ke m dalam musim ke i didefinisikan

$$R_{mj} = [n_j + 1 + \sum_{k=1}^n \text{sign}(x_{mj} - x_{kj})]/2 \quad (14)$$

$sign(x_{mj} - x_{kj})$ akan sama dengan nol jika salah satu x_{mj} atau x_{kj} hilang, untuk mendapatkan nilai hilang tersebut diambil *rank* tengah $(n_j + 1)/2$. Uji jumlah kovarians identik dengan perhitungan uji Kendall musiman dengan statistik uji

$$V = \mathbf{1}^T \mathbf{S} / \mathbf{1}^T \mathbf{\Gamma} \mathbf{1} \quad (15)$$

Persamaan (15) menurut Libiseller (2002). adalah jumlah semua data (musiman) uji Mann-Kendall ($\mathbf{1}^T \mathbf{S}$) dibagi dengan jumlah varians-kovarians (musiman) statistik Mann-Kendall ($\mathbf{1}^T \mathbf{\Gamma} \mathbf{1}$).

2.4. Uji Mann-Kendall Parsial

Untuk melihat pengaruh kondisi cuaca dalam suatu deret waktu maka dapat digunakan uji Mann-Kendall Parsial. Dengan statistik uji perhitungan bersyarat kovariat (s) dalam statistik Mann-Kendall. Untuk statistik Mann-Kendall dihitung dengan menggunakan vektor \mathbf{T} . Matrik $\mathbf{\Gamma}$ adalah matriks varians-kovarians. Diagonalnya berupa varians dari setiap variabel sedangkan unsur lainnya berupa kovarian antar variabel. Matriks varians dan kovarians adalah matriks simetris. Statistik uji $\mathbf{T} = [\mathbf{T}_\alpha, \mathbf{T}_\beta]^t$, dimana α dan β adalah grup pada variabel respon dan variabel penjelas (s), asimptot distribusi normal multivariat dengan rata-rata vektor didefinisikan sebagai $\mu = \begin{bmatrix} \mu_\alpha \\ \mu_\beta \end{bmatrix}_{\delta \times 1}$ dan matriks kovarians

$$\mathbf{\Gamma} = \begin{bmatrix} \Gamma_{\alpha\alpha} & \Gamma_{\alpha\beta} \\ \Gamma_{\beta\alpha} & \Gamma_{\beta\beta} \end{bmatrix}_{\delta \times \delta} \quad (16)$$

Oleh karena distribusi bersyarat S_α maka $S_\beta = s_\beta$ adalah multivariat normal yaitu

$$E(S_\alpha / S_\beta = s_\beta) = \mu_\alpha + \Gamma_{\alpha\beta} \Gamma_{\beta\beta}^{-1} (s_\beta - \mu_\beta) \quad (17)$$

$$Var(S_\alpha / S_\beta = s_\beta) = \Gamma_{\alpha\alpha} - \Gamma_{\alpha\beta} \Gamma_{\beta\beta}^{-1} \Gamma_{\beta\alpha} \quad (18)$$

Hipotesis nol = tidak ada *trend* dalam beberapa variabel

$$\mu = \begin{bmatrix} \mu_\alpha \\ \mu_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Jadi, persamaan (17) dapat diperoleh nilai

$$E(S_\alpha / S_\beta = s_\beta) = \Gamma_{\alpha\beta} \Gamma_{\beta\beta}^{-1} s_\beta \quad (19)$$

Maka standar deviasi variabel respon dikurangi nilai harapan bersyarat Mann-Kendall Parsial (Libiseller, 2002) didefinisikan

$$S_\alpha - E(S_\alpha | S_\beta = s_\beta) \quad (20)$$

3. Metodologi Penelitian

Metode pengambilan data yang diperlukan dalam penulisan ini adalah data sekunder dari periode Januari 1997-Desember 2006 yang bersumber dari stasiun Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang beralamat di Blang Bintang Banda Aceh. Unsur-unsur

yang digunakan dalam kajian ini suhu udara (derajat celcius), tekanan udara (atm), kelembaban udara (%), curah hujan (mm) dan kecepatan angin (knot). Adapun metode pengolahan data yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- **Uji Mann-Kendall Multivariat**

- (a) Menghitung perbedaan tanda (berdasarkan tanda positif dan tanda negatif) statistik Mann-Kendall
- (b) Menentukan statistik Mann-Kendall (S)
- (c) Menghitung nilai $Var(S)$
- (d) Menghitung nilai Z
- (e) Menghitung nilai peluang Z
- (f) Menentukan *trend* dengan taraf signifikansi 95%
- (g) Mengambil kesimpulan.

- **Uji Mann-Kendall Parsial**

- (a) Menentukan rata-rata dan standar deviasi dari variabel respon dan variabel penjelas
- (b) Menentukan matriks varian-kovarian dari kedua variabel tersebut
- (c) Mencari ekspektasi bersyarat dan variansi bersyarat
- (d) Mengambil kesimpulan.

4. Pembahasan

4.1. Statistik Deskriptif Unsur-unsur Cuaca dan Iklim

Data unsur-unsur cuaca dan iklim tahun 1997-2006 bersumber pada stasiun BMKG di Blang Bintang Aceh Besar. Dari pola suhu udara ($^{\circ}\text{C}$) diketahui tahun 2000, 2001 dan 2002 suhu udara meningkat. Sedangkan pada tahun 1997, 1998, 1999, 2003-2006 suhu menurun, dengan rata-rata (mean) 26.8°C , standar deviasi 0.865°C , variansi 0.748°C , nilai maximum 28.4°C dan minimum 21.6°C . Dari pola curah hujan (mm) diketahui tahun 1997, 1998, 1999, dan 2002-2006 curah hujan semakin tinggi. Sedangkan tahun 2000 dan 2001 curah hujan rendah, dengan rata-rata (mean) 185.3mm , standar deviasi 123.4mm , variansi 15239.902mm , nilai maximum 682.0mm dan minimum 0.3mm . Pola tekanan udara (mb) diketahui tahun 1997-2001, 2003 dan 2006 besar tekanan meningkat. Sedangkan tahun 2002, 2004 dan 2005 besar tekanan menurun, dengan rata-rata (mean) 1010.7mb , standar deviasi 0.8mb , variansi 0.701mb , nilai maximum 1013mb dan minimum 1008.3mb . Dari pola kelembaban udara (%) diketahui tahun 1998, 1999, 2002, 2003 dan 2004 besar kelembaban meningkat. Sedangkan pada tahun 1997, 2000, 2001, 2005 dan 2006 besar kelembaban menurun, dengan rata-rata (mean) 81.8% , standar deviasi 5.40% , variansi 29.117% , nilai maximum 94% dan minimum 68% . Dari pola kecepatan angin (knot) diketahui bahwa pada tahun 1997, 1999 sampai dengan 2006 besar kecepatan meningkat. Sedangkan pada tahun 1998 besar kecepatannya menurun, dengan rata-rata (mean) 9.9knot , standar deviasi 1.875knot , variansi 3.515knot , nilai maximum 17knot , nilai minimum 6knot . Berdasarkan pola unsur-unsur cuaca dan iklim perbulan maka dapat ditentukan angka tertinggi pola naik-turun dari masing-masing unsur seperti yang diberikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Angka Terbesar Pola Naik dan Turun Unsur-unsur Cuaca dan Iklim.

NO	VARIABEL	POLA		KETERANGAN
		Naik	turun	
1	Suhu Udara	5.1°C	5°C	Pola naik dan turun suhu udara tertinggi terjadi pada bulan September.
2	Curah Hujan	573m m	313m m	Pola naik dan turun curah hujan tertinggi terjadi pada bulan November.
3	Tekanan Udara	2.6mb	2.9mb	Pola naik tekanan udara tertinggi terjadi pada bulan Maret, sedangkan pola turun terjadi pada bulan September.
4	Kelembaban Udara	14%	10%	Pola naik dan turun kelembaban tertinggi terjadi pada bulan Mei.
5	Kecepatan Angin	7knot	6knot	Pola naik kecepatan angin tertinggi terjadi pada bulan Juli, sedangkan pola turun terjadi pada bulan Juli, Agustus dan September.

4.2. Uji Mann-Kendall (Trend)

a. Uji Tanda

Tabel 3. Uji Tanda (*S*) dari Unsur-unsur Cuaca dan Iklim 1997–2006.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Suhu Udara	-2	-28	-15	-7	-15	-6	-25	-15	-14	-1
Curah Hujan	16	38	12	12	34	23	24	4	28	-7
Kelembaban Udara	6	-6	-4	-1	6	10	-5	-4	37	23
Tekanan Udara	19	-22	28	-5	8	24	6	-7	-16	23
Kecepatan Angin	4	12	11	16	13	-2	7	6	5	-12

b. Uji Trend

Perhitungan nilai varian suhu udara tahun 1997 (Nilai Variansi Statistik Mann-Kendall) adalah

$$Var[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} = \frac{12(12-1)(2(12)+5) - \sum_{p=1}^2 t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} = 208$$

Tabel 4. Nilai Varian (*S*) Unsur-unsur Cuaca dan Iklim dari Tahun 1997 sampai 2006.

Tahun	Suhu Udara (°C)	Curah Hujan (mm)	Tekanan Udara (mb)	Kelembaban Udara (%)	Kecepatan Angin (knot)
1997	208	212.67	209.67	210.67	195.33
1998	210.67	212.67	211.67	205.33	199.33
1999	209	212.67	212.67	203.33	182.33
2000	211.67	212.67	211.67	208	194
2001	211.67	212.67	183.33	208	201
2002	208	211.67	196.67	206	199.33
2003	211.67	212.67	210.67	208	191.67
2004	211.67	212.67	207	202	200
2005	210.67	212.67	208	207	201
2006	211.67	211.67	207	210.67	183.33

Dari Tabel 4 di atas, nilai variansi dari unsur-unsur cuaca dan iklim bervariasi berdasarkan grup-grup yang dimiliki pada setiap unsur. Unsur-unsur yang tidak banyak memiliki grup maka nilai variansinya 212.67, seperti yang terdapat pada unsur curah hujan (mm), hanya pada tahun 2002 dan 2006 saja terdapat grup. Kecepatan angin adalah unsur yang memiliki grup paling banyak. Sebaliknya curah hujan, memiliki grup paling sedikit. Banyak grup yang dimiliki akan mempengaruhi nilai variansi unsur tersebut. Menurut Khambhammettu (Khambhammettu, 2005) dan juga merujuk pada ketentuan taraf signifikansi 95%, maka tingkat kesalahan (α) yaitu 5%.

- Jika nilai Z positif dan $P > 0.05$, maka dikatakan *Trend Naik*
- Jika nilai Z negatif dan $P > 0.05$, maka dikatakan *Trend Turun*
- Jika $P < 0.05$, maka dikatakan tidak ada *Trend*.

Tabel 5. *Trend Mann-Kendall Data Suhu Udara ($^{\circ}\text{C}$).*

Tahun	Jumlah Data (n)	Statistik Mann-Kendall (S)	Statistik uji Dist. Normal (Z)	Peluang (P)	Trend (taraf signifikansi 95%)
1997	12	-2	-0.0693	0.5276	Trend Turun
1998	12	-28	-1.8602	0.9685	Trend Turun
1999	12	-15	-0.9684	0.8336	Trend Turun
2000	12	-7	-0.4124	0.6600	Trend Turun
2001	12	-15	-0.9623	0.8320	Trend Turun
2002	12	-6	-0.3467	0.6356	Trend Turun
2003	12	-25	-1.6496	0.9505	Trend Turun
2004	12	-15	-0.9623	0.8320	Trend Turun
2005	12	-14	-0.8957	0.8148	Trend Turun
2006	12	-1	0.0000	0.5000	Trend Naik

Tabel 6. *Trend Mann-Kendall Data Curah Hujan (mm).*

Tahun	Jumlah Data (n)	Statistik Mann-Kendall (S)	Statistik uji Dist. Normal (Z)	Peluang (P)	Trend (taraf signifikansi 95%)
1997	12	16	1.0286	0.8482	Trend Naik
1998	12	38	2.5372	0.9944	Trend Naik
1999	12	12	0.7543	0.7747	Trend Naik
2000	12	12	0.7543	0.7747	Trend Naik
2001	12	34	2.2629	0.9882	Trend Naik
2002	12	23	1.5121	0.9348	Trend Naik
2003	12	24	1.5772	0.9426	Trend Naik
2004	12	4	0.2057	0.5815	Trend Naik
2005	12	28	1.8514	0.9679	Trend Naik
2006	12	-7	-0.4124	0.6600	Trend Turun

Tabel 7. *Trend Mann-Kendall Data Tekanan Udara (mb).*

Tahun	Jumlah Data (n)	Statistik Mann-Kendall (S)	Statistik uji Dist. Normal (Z)	Peluang (P)	Trend (taraf signifikansi 95%)
1997	12	19	1.2431	0.8931	Trend Naik
1998	12	-22	-1.4434	0.9255	Trend Turun
1999	12	28	1.8514	0.9679	Trend Naik
2000	12	-5	-0.2749	0.6083	Trend Turun
2001	12	8	0.5170	0.6974	Trend Naik
2002	12	24	1.6401	0.9495	Trend Naik
2003	12	6	0.3445	0.6348	Trend Naik
2004	12	-7	-0.4170	0.6617	Trend Turun
2005	12	-16	-1.0401	0.8508	Trend Turun
2006	12	23	1.5291	0.9369	Trend Naik

Tabel 8. *Trend Mann-Kendall Data Kelembaban Udara (%).*

Tahun	Jumlah Data (n)	Statistik Mann-Kendall (S)	Statistik uji Dist. Normal (Z)	Peluang (P)	Trend (taraf signifikansi 95%)
1997	12	6	0.3445	0.6348	Trend Naik
1998	12	-6	-0.3489	0.6364	Trend Turun
1999	12	-4	-0.2104	0.5833	Trend Turun
2000	12	-1	0.0000	0.5000	Trend Naik
2001	12	6	0.3467	0.6356	Trend Naik
2002	12	10	0.6271	0.7347	Trend Naik
2003	12	-5	-0.2774	0.6092	Trend Turun
2004	12	-4	-0.2111	0.5836	Trend Turun
2005	12	37	2.5022	0.9938	Trend Naik
2006	12	23	1.5157	0.9352	Trend Naik

Tabel 9. *Trend Mann-Kendall Data Kecepatan Angin (knot).*

Tahun	Jumlah Data (n)	Statistik Mann-Kendall (S)	Statistik uji Dist. Normal (Z)	Peluang (P)	Trend (taraf signifikansi 95%)
1997	12	4	0.2147	0.5850	Trend Naik
1998	12	12	0.7791	0.7820	Trend Naik
1999	12	11	0.7406	0.7705	Trend Naik
2000	12	16	1.0769	0.8592	Trend Naik
2001	12	13	0.8464	0.8013	Trend Naik
2002	12	-2	-0.0708	0.5282	Trend Turun
2003	12	7	0.4334	0.6676	Trend Naik
2004	12	6	0.3536	0.6382	Trend Naik
2005	12	5	0.2821	0.6111	Trend Naik
2006	12	-12	-0.8124	0.7917	Trend Turun

4.3. Uji Mann-Kendall Parsial

a. Suhu dan Curah Hujan

Misalkan μ_α adalah matriks rata-rata suhu udara per bulan (1997-2006), s_α adalah matriks standar deviasi suhu udara per bulan (1997-2006), μ_β adalah matriks rata-rata curah hujan per bulan (1997-2006), dan s_β adalah matriks standar deviasi curah hujan per bulan (1997-2006). Dari persamaan (16) diperoleh

$$\mu_\alpha = \begin{bmatrix} \mu_{\alpha_1} \\ \mu_{\alpha_2} \\ \mu_{\alpha_3} \\ \mu_{\alpha_4} \\ \mu_{\alpha_5} \\ \mu_{\alpha_6} \\ \mu_{\alpha_7} \\ \mu_{\alpha_8} \\ \mu_{\alpha_9} \\ \mu_{\alpha_{10}} \\ \mu_{\alpha_{11}} \\ \mu_{\alpha_{12}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 26.13 \\ 26.49 \\ 27.07 \\ 27.43 \\ 27.64 \\ 27.54 \\ 27.48 \\ 27.25 \\ 26.10 \\ 26.31 \\ 26.15 \\ 25.88 \end{bmatrix} \quad s_\alpha = \begin{bmatrix} s_{\alpha_1} \\ s_{\alpha_2} \\ s_{\alpha_3} \\ s_{\alpha_4} \\ s_{\alpha_5} \\ s_{\alpha_6} \\ s_{\alpha_7} \\ s_{\alpha_8} \\ s_{\alpha_9} \\ s_{\alpha_{10}} \\ s_{\alpha_{11}} \\ s_{\alpha_{12}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.320 \\ 0.341 \\ 0.359 \\ 0.462 \\ 0.525 \\ 0.486 \\ 0.520 \\ 0.521 \\ 1.596 \\ 0.242 \\ 0.196 \\ 0.397 \end{bmatrix} \quad \mu_\beta = \begin{bmatrix} \mu_{\beta_1} \\ \mu_{\beta_2} \\ \mu_{\beta_3} \\ \mu_{\beta_4} \\ \mu_{\beta_5} \\ \mu_{\beta_6} \\ \mu_{\beta_7} \\ \mu_{\beta_8} \\ \mu_{\beta_9} \\ \mu_{\beta_{10}} \\ \mu_{\beta_{11}} \\ \mu_{\beta_{12}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 234.4 \\ 169.3 \\ 113.9 \\ 68.5 \\ 134.0 \\ 158.6 \\ 91.1 \\ 153.8 \\ 198.4 \\ 249.5 \\ 306.3 \\ 345.8 \end{bmatrix} \quad s_\beta = \begin{bmatrix} s_{\beta_1} \\ s_{\beta_2} \\ s_{\beta_3} \\ s_{\beta_4} \\ s_{\beta_5} \\ s_{\beta_6} \\ s_{\beta_7} \\ s_{\beta_8} \\ s_{\beta_9} \\ s_{\beta_{10}} \\ s_{\beta_{11}} \\ s_{\beta_{12}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 94.5 \\ 110.1 \\ 83.7 \\ 43.0 \\ 69.2 \\ 88.3 \\ 42.2 \\ 111.9 \\ 81.7 \\ 99.2 \\ 182.4 \\ 82.5 \end{bmatrix}$$

dengan $\Gamma_{\alpha\beta}$ adalah matriks variansi-kovariansi suhu udara dan curah hujan per bulan (1997–2006),

$$\Gamma_{\alpha\beta} = \begin{bmatrix} -17.32 & & & & & & & & & & & \\ 5.50 & -27.13 & & & & & & & & & & \\ 6.05 & -21.81 & -18.27 & & & & & & & & & \\ -2.85 & -28.07 & -10.95 & -3.94 & & & & & & & & \\ -8.14 & -22.56 & -9.05 & 1.18 & -9.61 & & & & & & & \\ 9.82 & -26.27 & -15.50 & 4.59 & 3.59 & -25.30 & & & & & & \\ 23.44 & -23.16 & -18.48 & 6.04 & 16.48 & -18.86 & -4.42 & & & & & \\ 13.41 & 16.91 & 25.32 & -9.24 & 5.85 & 9.01 & -10.97 & -52.12 & & & & \\ 3.62 & -17.53 & 19.70 & -38.40 & 0.33 & 35.79 & -22.61 & -80.14 & -97.41 & & & \\ 2.65 & -1.69 & 11.95 & -0.95 & 0.66 & 6.58 & -2.98 & -13.81 & -0.53 & 3.63 & & \\ 3.23 & -3.79 & -1.51 & 5.23 & 1.54 & -9.50 & 0.75 & 4.79 & 3.53 & -0.66 & -18.96 & \\ 13.51 & -3.66 & 14.20 & 3.28 & 7.11 & 4.90 & 1.98 & -35.97 & -7.32 & 3.04 & 39.96 & -5.61 \end{bmatrix}$$

Selama periode 1997-2006, nilai variansi menunjukkan angka negatif kecuali Oktober (3.63), variansi terendah September (-97.41). Kovariansi curah hujan dan suhu pada Januari cenderung positif (tertinggi 23.44), Februari cenderung negatif (terendah -8.07), Maret cenderung negatif (terendah -18.48), April cenderung negatif (terendah -38.40), Mei cenderung positif (tertinggi 16.48), Juni cenderung positif (tertinggi 35.79), Juli cenderung negatif (terendah -22.61), Agustus cenderung negatif (terendah -80.14), September cenderung negatif (terendah -38.40), Oktober cenderung positif (tertinggi 25.32), November cenderung negatif (terendah -28.07), Desember cenderung positif (tertinggi 23.44). Ekspektasi dari $s_\alpha | s_\beta = s_\beta$ untuk bulan Januari-Desember adalah

$$E(S_\alpha | S_\beta = s_\beta) = \Gamma_{\alpha\beta} \Gamma_{\beta\beta}^{-1} (s_\beta - \mu_\beta) = \begin{bmatrix} -1090564.93 \\ -194052.93 \\ -161020.68 \\ 110639.48 \\ 632290.68 \\ 1128.30 \\ -873201.62 \\ 1671720.85 \\ -654864.05 \\ -17969.63 \\ 44331.47 \\ -376309.23 \end{bmatrix} \quad S_\alpha - E(S_\alpha | S_\beta = s_\beta) = \begin{bmatrix} 1090565.251 \\ 194053.271 \\ 161021.038 \\ -110639.015 \\ -632290.152 \\ -1127.817 \\ 873202.138 \\ -1671720.331 \\ 654865.643 \\ 17969.876 \\ -44331.270 \\ 376309.623 \end{bmatrix}$$

Dari kedua belas bulan di atas menunjukkan Januari memiliki ekspektasi antara suhu dan curah hujan lebih rendah dibandingkan bulan-bulan lainnya (-1090564.93). Sementara itu, ekspektasi pada Agustus menunjukkan angka lebih tinggi dari bulan-bulan lainnya (1671720.85). Ekspektasi suhu udara dan curah hujan positif dari April-Juni, Agustus dan November. Sedangkan pada bulan-bulan lainnya menunjukkan ekspektasi suhu dan curah hujan negatif. Nilai variansi bersyarat suhu dan curah hujan tertinggi mencapai 274331.08 dan nilai terendah -310924.01.

b. Suhu dan Tekanan Udara

Nilai kovariansi antara suhu dan tekanan udara positif tertinggi 1.373, 0.764 dan 0.627. Sedangkan nilai negatif terendah -0.278, -0.255 dan -0.227. Selama periode 1997-2006 ekspektasi suhu udara dan tekanan udara diketahui menurun dari Januari-Desember. Pada Desember suhu dan tekanan memiliki ekspektasi yang lebih rendah dibandingkan bulan-bulan lainnya (-984.72). Sementara itu, ekspektasi pada Juni menunjukkan angka lebih tinggi dari bulan-bulan lainnya (-981.96). Nilai variansi bersyarat suhu dan tekanan udara sangat beragam (Januari-Desember). Nilai varian suhu dan tekanan udara tertinggi 0.743, terendah -1.686.

c. Suhu dan Kelembaban Udara

Nilai kovariansi antara suhu dan kelembaban udara positif terbesar 1.500, 0.856 dan 0.833. Sedangkan nilai kovariansi negatif terkecil -1.036, -0.596 dan -0.318. Selama periode 1997-2006 ekspektasi suhu udara dan kelembaban udara menurun dari Januari-Desember. Pada Desember memiliki ekspektasi antara suhu dan kelembaban lebih rendah dibandingkan bulan-bulan lainnya (-58.22). Sementara itu, ekspektasi pada Agustus menunjukkan angka lebih tinggi dari bulan-bulan lainnya (-43.95). Nilai variansi bersyarat antara suhu dan kelembaban udara sangat beragam dari Januari-Desember. Nilai varian suhu dan kelembaban udara tertinggi 2.538 dan terendah -1.146.

d. Suhu dan Kecepatan Angin

Nilai kovariansi antara suhu dan kecepatan angin positif terbesar 1.722, 1.244, 0.933, 0.756 dan 0.400. Sedangkan nilai kovariansi negatif terkecil -0.878, -0.536, -0.462 dan -0.440. Selama periode 1997-2006 ekspektasi suhu udara dan kecepatan angin diketahui meningkat dari Januari-Desember. Pada Desember memiliki ekspektasi antara suhu dan kecepatan angin yang lebih rendah dibandingkan bulan-bulan lainnya (17.23). Sementara itu, ekspektasi pada April menunjukkan angka lebih tinggi dari bulan-bulan lainnya (20.38). Nilai variansi bersyarat suhu dan kecepatan angin sangat beragam dari Januari-Desember. Nilai varian suhu dan kecepatan angin tertinggi mencapai 2.972 dan nilai terendah mencapai -1.215.

5. Kesimpulan

Melalui analisis Mann-Kendall multivariat diperoleh beberapa simpulan berikut. Selama periode 1997-2006 untuk *trend* suhu udara tahun 1997-2005 turun, tahun 2006 *trend* naik. *Trend* curah hujan tahun 1997-2005 naik, tahun 2006 *trend* turun. *Trend* tekanan udara tahun 1997, 1999, 2001-2003 dan tahun 2006 naik, tahun 1998, 2000 dan 2004-2005 *trend* turun. *Trend* kelembaban udara tahun 1997, 2000-2002, 2005-2006 naik, tahun 1998-1999, 2003-2004 *trend* turun. *Trend* kecepatan angin tahun 1997-2001 dan 2003-2005 naik, tahun 2002 dan 2006 *trend* turun. Sedangkan melalui analisis Mann-Kendall multivariat parsial untuk signifikansi suhu dan curah hujan berdasarkan nilai kovariansi suhu dan curah hujan terbesar 39.96, signifikansi suhu dan tekanan terbesar 1.373, signifikansi suhu dan kelembaban terbesar 1.500, dan signifikansi suhu dan kecepatan angin terbesar 1.722.

Daftar Pustaka

- Gilbert, R.O., 1987. *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. New York.
- Harinaldi, 2005. *Prinsip-prinsip Statistik untuk Teknik dan Sains*. Erlangga, Jakarta.
- Hasan, M.I., 2002. *Pokok-pokok Materi Statistik 2 (Statistik Inferensi)*. PT Bumi Aksara, Jakarta.
- Kartasapoetra, A.G., 2004. *Klimatologi Pengaruh Iklim terhadap Tanah dan Tanaman*. PT Bumi Aksara, Jakarta.
- Khambhammettu, P., 2005. *Mann-Kendall Analysis for the Fort Ord Site*. California.
- Lakitan, B., 2002. *Dasar-dasar Klimatologi*. PT Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Libiseller, C., 2002. Multivariate and partial Mann-Kendall test, Website: <http://www.mai.liu.se/~cllib/welcome/PMKtest.html>, diakses Maret 2008.
- Linsley, R.K., Kohler, M.A., Joseph, L.H., Paulhus, Hermawan, Y., 1986. *Hidrologi untuk Insinyur*. PT Gelora Aksara Pratama, Jakarta.
- Mangkuatmodjo, S., 2004. *Statistika Lanjutan*. PT Rineka Cipta, Jakarta.
- Supranto, J., 2001. *Statistik Teori dan Aplikasi*. Erlangga, Jakarta.
- Sarwoko, 2007. *Statistik Inferensi untuk Ekonomi dan Bisnis*. ANDI, Yogyakarta.
- Tjasjono, B., 2004. *Klimatologi*. ITB, Bandung.